

УДК 531.43:620.178.4

**СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ  
И РАСПОЗНАВАНИЯ СИГНАЛОВ  
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ  
ВНУТРИТРУБНЫХ ОБЪЕКТОВ**

А.Н. Калинин

Томский политехнический университет

E-mail: [lex-k@tpu.ru](mailto:lex-k@tpu.ru)

**Калининченко Алексей Николаевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Физические методы и приборы контроля качества» ТПУ.

E-mail: [lex-k@tpu.ru](mailto:lex-k@tpu.ru)

Область научных интересов: исследования и разработка неразрушающих физических методов и приборов контроля качества материалов и изделий, вибродиагностика.

Предложена структурная схема акустического сигнализатора и алгоритм обработки сигналов акустической эмиссии от прохождения внутритрубных объектов, которые обеспечивают максимальное отношение сигнала к шуму, уменьшают вероятность несрабатывания (пропуска) и ложного срабатывания сигнализатора, повышают помехоустойчивость и точность определения момента прохождения ВТО через контрольную точку.

**Ключевые слова:**

Внутритрубный объект, акустическая эмиссия, трение, частотный спектр.

Строительство новых и модернизация действующих трубопроводных систем нефтегазового комплекса России предполагает улучшение работы контрольно-измерительных приборов и средств автоматики. Внутритрубные объекты (ВТО) различного технологического назначения, движущиеся с потоком перекачиваемого продукта – механические разделители для перекачки нефти с различными физико-химическими свойствами, устройства для очистки полости трубы, профиломеры, дефектоскопы – достаточно широко используются при строительстве и эксплуатации трубопроводов.

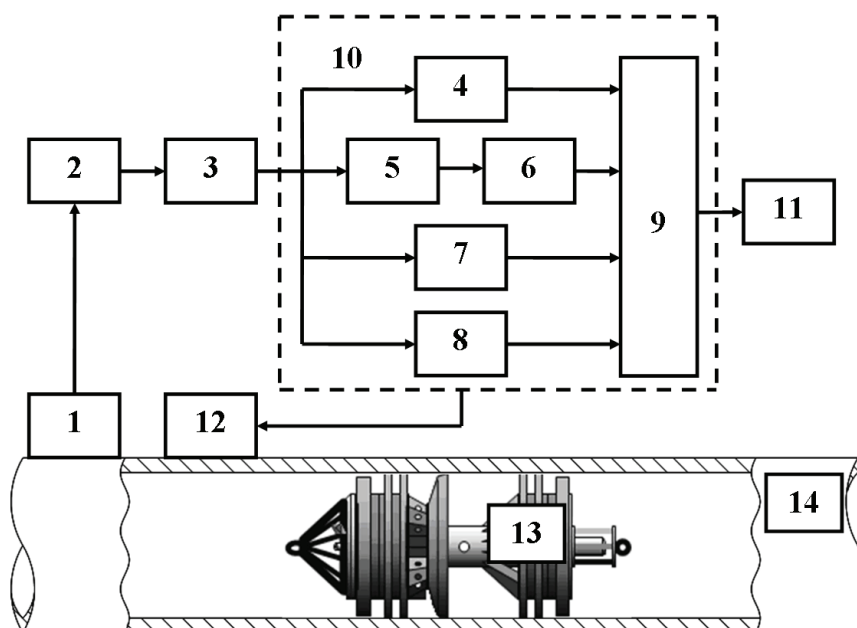
Одной из проблем, связанных с использованием ВТО, является определение их местоположения при движении в трубопроводе в реальном времени. Контроль перемещения ВТО по трубопроводу необходим для решения ряда технологических задач. Знать положение устройства необходимо также в случае его остановки или застревания, чтобы целенаправленно и с наименьшими затратами организовать его извлечение либо проталкивание.

Цель работы – разработать алгоритм работы и структурную схему аппаратуры регистрации прохождения ВТО.

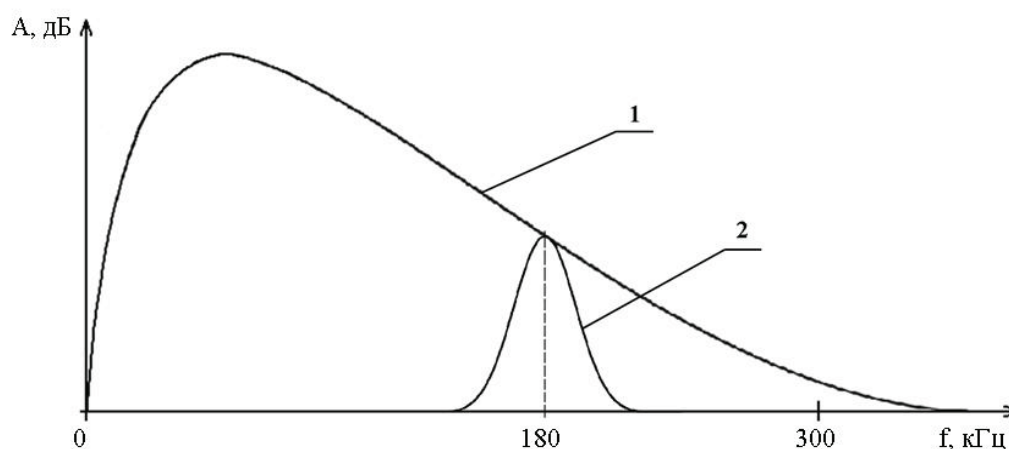
Достоверность регистрации прохождения ВТО контрольной точки акустическим методом обусловлена вероятностью наступления двух событий. *Во-первых*, возникновением акустической эмиссии (АЭ) при трении элементов ВТО о стенку трубопровода. *Во-вторых*, регистрацией в зоне контроля, охватываемой датчиком, сигнала АЭ на фоне помех. При движении ВТО со скоростью более 0,2 м/с всегда возникает АЭ. Если на стенке трубопровода будет установлен пьезопреобразователь, то на его выходе появится электрический сигнал [1].

На рис. 1 представлена структурная схема предлагаемого устройства контроля прохождения ВТО [1], при работе которого реализованы частотный, амплитудный и временной виды селекции сигнала при прохождении ВТО на фоне помех и ложных сигналов.

При движении ВТО в трубопроводе возникает АЭ вследствие трения ВТО о стенку трубопровода. Приемный преобразователь – 1, установленный на внешней стенке трубопровода – 14, преобразует акустические колебания в электрический сигнал, огибающая спектра которого представлена на рис. 2, и подает его в широкополосный усилитель – 2. Усиленный во всем диапазоне частот сигнал с усилителя подается на полосовой фильтр – 3, огибающая спектра сигнала будет иметь форму, показанную на рис. 2.



**Рис. 1.** Структурная схема контроля прохождения ВТО: 1 – приемный преобразователь; 2 – усилитель; 3 – узкополосный фильтр; 4 – пороговое устройство; 5 – формирователь импульсов; 6 – счетчик импульсов; 7 – блок анализа огибающей; 8 – блок обработки огибающей; 9 – сумматор; 10 – микроконтроллер; 11 – исполнительный элемент; 12 – блок самоконтроля работоспособности; 13 – ВТО; 14 – трубопровод



**Рис. 2.** Частотные диаграммы, поясняющие работу устройства: 1 – огибающая спектра акустических колебаний, возникающих при движении ВТО; 2 – форма огибающей спектра сигнала после прохождения полосового фильтра

Амплитудная селекция заключается в следующем. В высокочастотном диапазоне амплитуда акустических шумов от источника помехи меньше амплитуды сигнала, полученного в результате прохождения ВТО. При контроле таких процессов, смена которых приводит к значительному изменению амплитуды импульсов АЭ, целесообразно применение метода амплитудной дискриминации.

Полосовой фильтр обеспечивает прохождение сигналов АЭ с заданной частотой, при этом уровень полезного сигнала намного выше уровня шумов, вызванных внешними акустическими помехами. Огибающая сигнала, прошедшего полосовой фильтр, будет иметь форму, показанную на рис. 2.

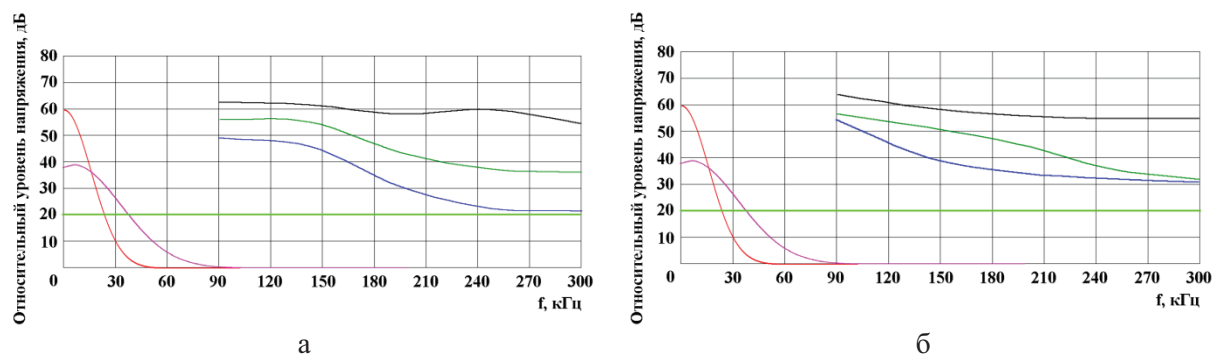
При выборе частотного диапазона регистрации АЭ учитывались следующие соображения. АЭ при трении обладает достаточно широким частотным спектром – от десятков герц до

десятков мегагерц. В то же время анализ, приведенный в [2], показывает, что акустические шумы, источниками которых является шум действующего трубопровода и атмосферные осадки, имеют спектр, ограниченный сверху частотой 80...100 кГц, которую следует принять за нижнюю границу частотного диапазона, в котором рекомендуется проводить контроль.

Так же необходимо учитывать, что на низких частотах сильно увеличивается зона обнаружения, что делает достоверность обнаружения невысокой. Для увеличения достоверности обнаружения сигналы от прохождения ВТО следует регистрировать в высокочастотном диапазоне.

При выборе верхней границы частотной полосы пропускания аппаратуры необходимо учитывать существенное затухание ультразвуковых волн в высокочастотной области спектра. Например, на частотах от 2 до 5 МГц дальность действия известных АЭ-приборов на объектах из стали не превышает нескольких десятков сантиметров [3, 4].

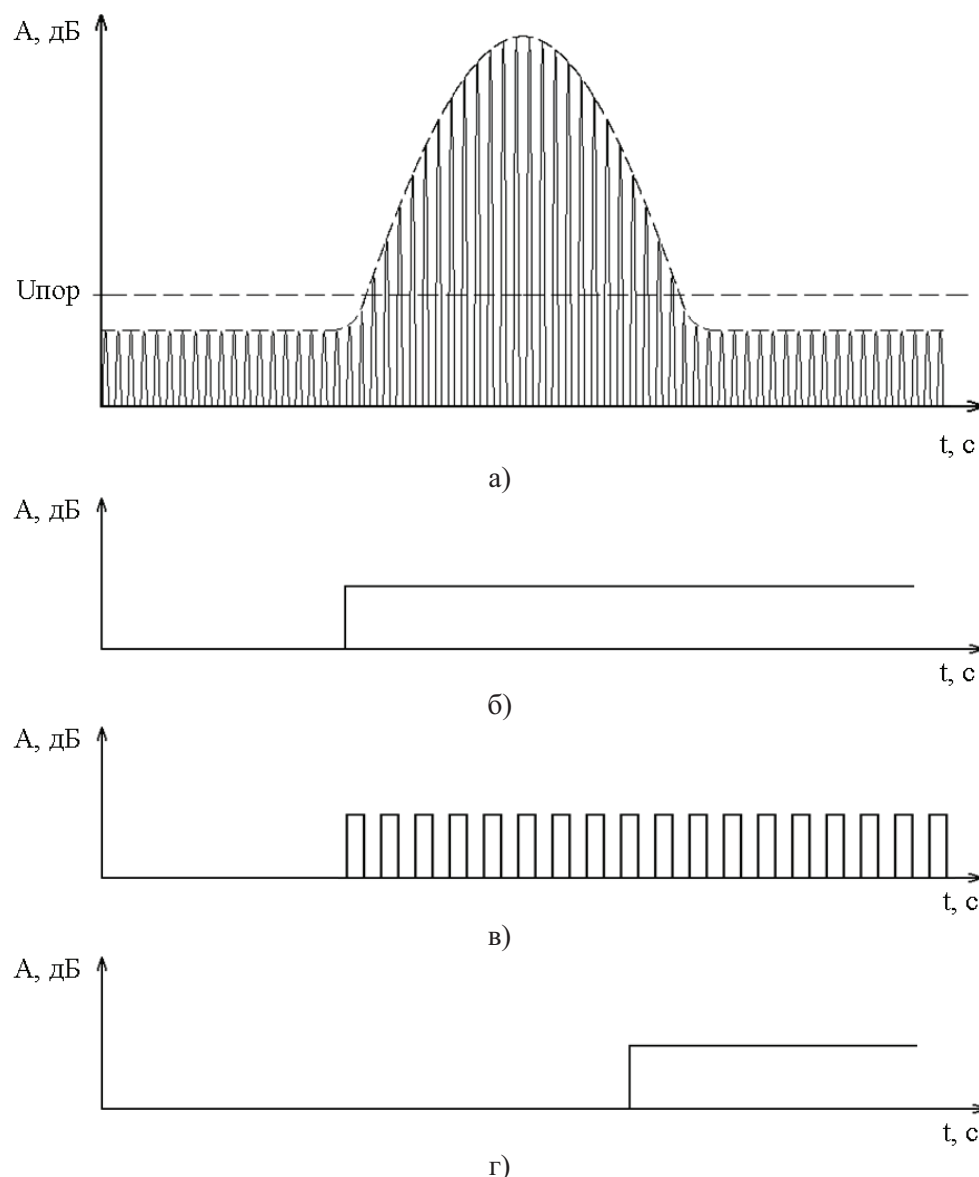
Проанализировав амплитудно-частотные характеристики акустических сигналов, генерируемых при прохождении ВТО, и акустических шумов, возникающих в трубопроводе [5], можно сделать вывод, что сигнал от прохождения ВТО, при нормальном режиме перекачки продукта по магистральному трубопроводу (скорость перекачки нефти от 1 до 2 м/с, газа от 1 до 5 м/с), можно уверенно регистрировать на фоне шумов трубопровода и собственных шумов аппаратуры, на частотах от 100 до 250 кГц (рис. 3).



**Рис. 3.** Амплитудно-частотные характеристики сигналов АЭ, возникающих в трубопроводе, заполненном а) газообразной и б) жидкой средами, при скорости перекачиваемого продукта 1 м/с: — — собственные шумы трубопровода; — — шумы, вызванные атмосферными осадками; — — шум аппаратуры; — — образец из металлической щетки; — — образец из резины; — — образец из полиуретана

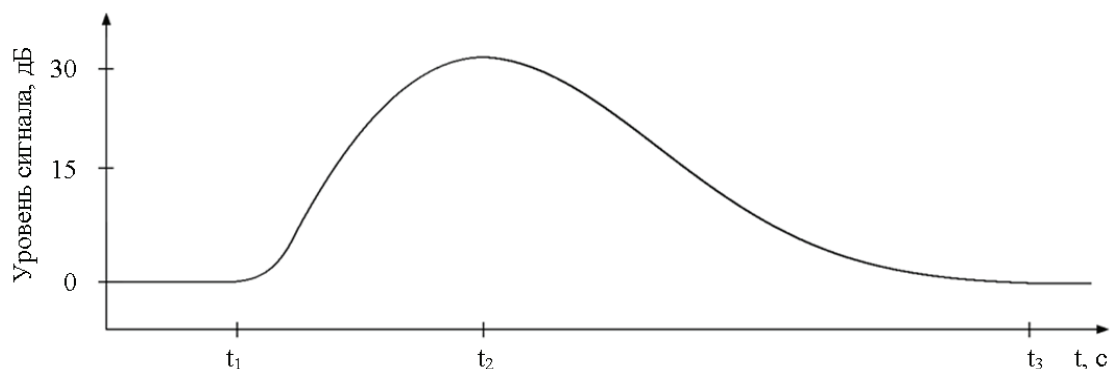
Принимая во внимание вышесказанное, можем определить диапазон частот для регистрации момента прохождения ВТО, который составит около 180 кГц. За счет более высокого частотного диапазона огибающая сигнала будет уже (рис. 2).

Амплитудная и временная селекция реализуются следующим образом: в случае превышения огибающей сигнала порогового уровня (рис. 4) в пороговом устройстве — 4 (рис. 1) вырабатывается сигнал, необходимый только для фиксации движения ВТО, а также включается формирователь импульсов — 5. При достижении определенного количества непрерывной последовательности импульсов счетчик — 6 формирует сигнал о прохождении ВТО. Для того чтобы аппаратура не давала ложных срабатываний от помехи, акустический сигнал которой обладает достаточно высокой амплитудой и длится в течение продолжительного времени, предлагается следующее.



**Рис. 4.** Амплитудная и временная селекция сигнала от прохождения ВТО на фоне помех и ложных сигналов: а – превышение огибающей сигнала порогового уровня; б – сигнал, сформированный при превышении огибающей порогового уровня; в – короткие импульсы, генерируемые формирователем импульсов, при превышении сигналом порогового уровня; г – сигнал, сформированный при достижении определенного количества непрерывной последовательности импульсов

На рис. 5 приведена временная зависимость огибающей сигнала АЭ при прохождении ВТО, на котором можно выделить несколько характерных областей. Момент времени  $t_1$  соответствует началу зоны приема сигнала АЭ от ВТО приемным преобразователем. В момент времени  $t_2$ , соответствующий моменту прохождения ВТО места установки датчика, наблюдается максимальное значение сигнала АЭ. Выход ВТО из зоны приема соответствует  $t_3$ , причем момент максимального уровня сигнала будет смещен влево, относительно временного центра зоны регистрации.



**Рис. 5.** Временная зависимость огибающей сигнала АЭ при прохождении ВТО

Зона приема датчиком сигнала АЭ от прохождения ВТО зависит от диапазона частот, в котором идет регистрация момента прохождения. Например, сигнал АЭ на частоте 100 кГц от ВТО, который перемещается со скоростью 1,5...2 м/с, будет превышать пороговый уровень в течение 20 с. Таким образом, зона обнаружения ВТО составит порядка 30 м [6]. И, как было указано выше, при увеличении частоты регистрации и скорости ВТО зона приема датчиком сигнала АЭ будет уменьшаться.

У помех с плавным увеличением и ослаблением уровня сигнала такой зависимости наблюдаться не будет. На основании чего в состав аппаратуры введен блок анализа огибающей – 7, который анализирует форму огибающей сигнала АЭ от прохождения ВТО и сравнивает с эталонной, образ которой заложен в память аппаратуры. Такое решение позволяет избежать ложных срабатываний сигнализатора от сигнала помехи.

Такая зависимость огибающей сигнала АЭ от прохождения ВТО позволяет выделить характерную точку – точку экстремума, лежащую внутри зоны приема датчика, в которой уровень огибающей принимает большее (максимальное) значение, по сравнению со значениями в соседних интервалах времени.

Включение в состав аппаратуры специального блока – блока обработки огибающей – 8 позволит вычислить момент времени, в котором огибающая переходит от возрастания к убыванию, а, соответственно, и момент прохождения ВТО контрольной точки.

Причем чем четче будет выражен момент перехода (что определяется длительностью зоны приема датчиком сигнала АЭ), тем точнее можно определить относительный и абсолютный момент времени прохождения ВТО.

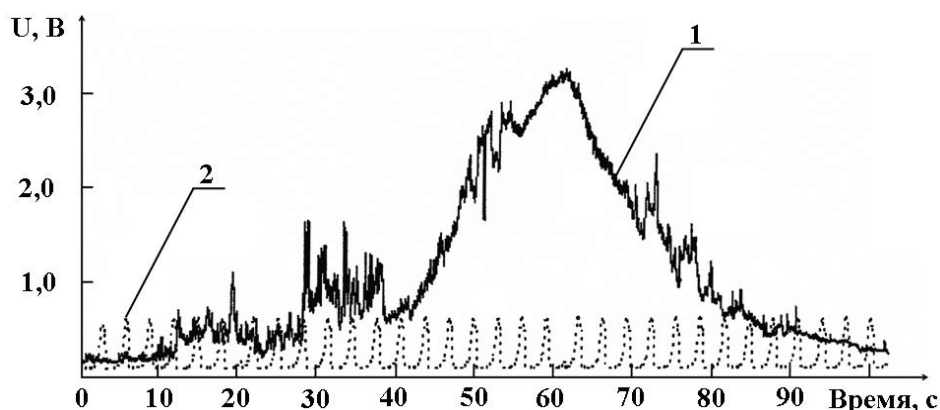
Для повышения достоверности все линии анализа сигнала АЭ включаются по логической схеме «И». В случае если в сумматор – 9 (рис. 1) поступили сигналы со всех четырех блоков (порогового устройства, блока временной селекции и блоков обработки и анализа огибающей), то на исполнительный элемент – 11 подается единый управляющий сигнал о прохождении ВТО.

Также устройство осуществляет периодический самоконтроль работоспособности при помощи блока самоконтроля работоспособности – 12, включающего в себя имитатор сигналов, выполненный на электромагнитном акустическом преобразователе, который позволяет бесконтактно вводить акустические колебания в стенку трубы. Такой блок позволяет избавиться от операции проведения контроля работоспособности перед каждым пуском внутритрубного объекта, что делает устройство удобным в эксплуатации.

В конечном счете были проведены натурные эксперименты в условиях действующего нефтепровода. Испытания проводились на узле подключения нефтеперекачивающей станции «Орловка» к магистральному нефтепроводу Александровское–Анжеро-Судженск (690 км). Скорость перемещения нефти 0,74...0,75 м/с. Температура воздуха +10 °С.

В результате испытаний произведена запись сигналов с выхода акустического датчика, разработанного по предложенной схеме, перед прохождением ВТО и в момент его прохождения (рис. 6). Также произведена запись калибровочного акустического сигнала, введенного в трубопровод по амплитуде, равной порогу срабатывания аппаратуры. Сигналы АЭ по амплиту-

де достаточны для достоверной регистрации прохождения ВТО. Порог регистрации ВТО установлен оптимально, т. е. не было зафиксировано пропусков и ложных срабатываний.



**Рис. 6.** Сигнал на выходе акустического датчика в момент прохождения очистного устройства типа СКР-3 к месту установки датчика: 1 — сигнал очистного устройства; 2 — калибровочный сигнал, равный по амплитуде порогу срабатывания аппаратуры

### Выводы

Предложенные алгоритм работы и аппаратура основаны на концепции «интеллектуального датчика», который представляет собой единый и независимый комплекс аппаратно-программных средств, способных решать поставленную перед всей системой задачу, учитывая особенности трубопроводов с разными типами перекачиваемого продукта и вида пропускаемого ВТО. Благодаря указанным особенностям аппаратуры обеспечивается высокая достоверность обнаружения момента прохождения ВТО по трубопроводу. Наличие периодического самоконтроля позволяет избавиться от операции проведения контроля работоспособности устройства перед пропуском ВТО.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устройство акустического контроля прохождения внутритрубных объектов: пат. 2413128 Рос. Федерация. № 2009131795; заявл. 21.08.09; опубл. 27.02.11, Бюл. № 6.
2. Калинин А.Н., Лапшин Б.М. Акустическая эмиссия при трении манжеты внутритрубного объекта о стенку трубопровода // Контроль. Диагностика. Специальный выпуск. — 2011. — С. 22–25.
3. Акустическая эмиссия и ее применение для неразрушающего контроля в ядерной энергетике / под. ред. К.Б. Вакара. — М.: Атомиздат, 1980. — 216 с.
4. Трипалин А.С., Буйло С.И. Акустическая эмиссия. Физико-механические аспекты. — Ростов на Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1986. — 160 с.
5. Калинин А.Н., Кулешов В.К. Акустический шум действующего трубопровода // Качество — стратегия XXI века: Материалы XV Междунар. научно-практ. конф. — Томск, 8–10 Декабря 2010. — С. 121–123
6. Николаева Е.Д. Разработка акустико-эмиссионного метода непрерывного контроля герметичности подводных трубопроводов: дис. ... канд. техн. наук. — Томск, 1991. — 220 с.

Поступила 11.04.2012 г.